

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 2016

Sonderdruck
Seiten 77–80



J. CRAMER Verlag • Braunschweig
2017

Paradigmenwechsel in der Physik*

F. JOCHEN LITTERST

Institut für Physik der kondensierten Materie der Technischen Universität Braunschweig
Mendelssohnstraße 3, D-38106 Braunschweig, E-Mail: j.litterst@tu-braunschweig.de

The Structure of Scientific Revolutions von Thomas Samuel Kuhn erschien 1962 und sorgt immer wieder für kontroverse Debatten darüber, ob Fortschritte in der Wissenschaft eher kontinuierlich evolutiv, oder wie von Kuhn vorgestellt, sprunghaft erfolgen [1].

Wissenschaftler einer bestimmten Disziplin arbeiten im gegenseitigen Verständnis, dass bestimmte erarbeitete Theorien zu wichtigen Fragen aus ihrem Bereich richtig sind. Sie sind sich darüber einig, welche Methoden geeignet sind, diese Fragen zu lösen. Wissenschaftler, die diese „normale“ Wissenschaft betreiben, teilen im Kuhnschen Sinn ein Paradigma. Dies erlaubt systematisches und erfolgreiches Lösen von „Rätseln“ (Kuhn). Darstellungen dieser Paradigmen finden sich typischerweise in Lehrbüchern, wo Standardmethoden und Standardtheorien, etc. beschrieben werden. „Alte“ Paradigmen werden dort nicht oder nur beiläufig behandelt, da sie nur vom „richtigen“ Paradigma ablenken würden.

Mit der Zeit mehrten sich Abweichungen von paradigmatischen Vorhersagen, „Anomalien“ werden beobachtet, die sich mit „normaler“ Wissenschaft nicht erklären lassen. Beispiele sind die im Altertum bereits bekannten Unregelmäßigkeiten der Planetenbewegungen, die nicht mit den idealen kreisförmigen Umläufen der Himmelsphären vereinbar waren, oder im 19. Jahrhundert die unerwartet auftretende Strahlung bei Gasentladungsexperimenten, erste Hinweise, die zur „Atomphysik“ leiten sollten. Je länger eine „normale“ Wissenschaftsphase anhält, umso größer die Wahrscheinlichkeit, dass Anomalien gefunden werden. Dies kann etwa durch genauere Beobachtung, Zufälle, zuweilen auch Vorhersagen durch neue Theorien geschehen.

Sobald derartige Anomalien überhand nehmen, kommt es zur „Krise“. In dieser revolutionären Phase werden über neue Ansätze Lösungen für diese Anomalien

* Zusammenfassung des Vortrags, der am 11.03.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

gefunden, die in der ursprünglichen Paradigmenanwendung nicht möglich waren. Meist entstehen in dieser Phase neue konkurrierende Theorien; diese außergewöhnlichen Aktivitäten werden begleitet von Auseinandersetzungen. Aussondern unzutreffender und Bestätigung erfolgreicher Ansätze führt dann dazu, dass sich ein neues Paradigma herausbildet. Abschließend wird das sich als erfolgreich erwiesene, neue Paradigma von der wissenschaftlichen Gemeinschaft übernommen und eine weitere Phase stabilen Forschens („normale“ Wissenschaft) kann sich daran anschließen.

Revolutionäre Phasen, die zu neuen Paradigmen führten, sind z.B. die (in diesem Vortrag näher in ihren Ursachen und Argumenten betrachteten) Übergänge von der ptolemäischen zur kopernikanischen Astronomie (die „kopernikanische Wende“), von der aristotelischen Mechanik zu den Konzepten Galileis und Descartes' hin zur „klassischen Mechanik“ Newtons, von dort zu Einsteins Relativitätsmechanik und schließlich zur Quantenmechanik.

Diesen Paradigmenwechseln gingen teils viele Hunderte stabiler Jahre voraus, die Übergangsphasen mit wissenschaftlichen Auseinandersetzungen dauerten oft Jahrzehnte und länger (insbesondere wenn sie von theologischen Einwänden begleitet wurden).

Als Beispiel rasch und radikal erfolgter Paradigmenwechsel in der physikalischen Forschung des letzten Jahrhunderts betrachten wir die Entwicklungen auf dem Gebiet der Supraleitung, ein Musterfall, der Kuhns Thesen zu sprunghaften Entwicklungen unterstützt. Vom 1911 entdeckten exotischen Phänomen in wenigen elementaren Metallen bei Temperaturen nahe des absoluten Nullpunkts [2], über unmagnetische Legierungen hin zu besonderen Kupferoxiden, den ersten „Hochtemperatursupraleitern“ [3], und selbst eisenhaltigen Verbindungen [4] sind inzwischen technische Anwendungen bei Temperaturen des flüssigen Stickstoffs möglich. Bisheriger Höhepunkt ist die 2015 entdeckte Supraleitfähigkeit von unter hohen Drucken verfestigten Schwefelwasserstoffs nahe Raumtemperatur, was vollkommen unerwartete Anwendungsperspektiven eröffnet [5,5a].

Auch stabilisierte Paradigmen lassen Fragen offen oder werfen mit den mit ihnen verknüpften Theorien neue auf. Die 1915 von Albert Einstein vorgestellte Allgemeine Relativitätstheorie war höchst erfolgreich bei zahlreichen Vorhersagen, die in der Folge durch Beobachtungen bestätigt wurden, z.B. die Ablenkung von Sternenlicht durch große Massen (etwa der Sonne), die Periheldrehung der Merkurbahn, die Gravitationsrotverschiebung und schließlich von Eigenschaften „Schwarzer Löcher“. Eine bislang immer wieder kontrovers diskutierte und experimentell unbestätigte Vorhersage war die im Jahre 1916 erstmals aus den Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie abgeleitete Möglichkeit von Gravitationswellen [6]. Die intensiven Diskussionen zu Theorie und experimentellem Nachweis, insbesondere angestoßen auf der unter Gravitationsforschern berühmten Chapel Hill Conference (1957), sind nachzulesen in einer Review von

P.R. Saulson [7]. Ein erster direkter von Joseph Weber 1969 berichteter Nachweis [8], konnte nicht belastbar reproduziert werden. Ein indirekter Nachweis, der über Gravitationswellenabstrahlung verursachte Energieverlust einander umkreisender Neutronensterne wurde 1993 mit dem Nobelpreis für Russell Hulse und Joseph Taylor ausgezeichnet [9]. 2014 wurden wirbelförmige Muster in der kosmischen Hintergrundstrahlung berichtet, die von sogenannten primordialen Gravitationswellen verursacht sein könnten. Allerdings stellte sich heraus, dass kosmischer Staub unserer Milchstraße dafür verantwortlich ist [10].

Genau vier Wochen vor diesem Vortrag wurde nun erstmals über den erfolgreichen direkten Nachweis von Gravitationswellen berichtet [11]. Über zwei Detektoren des Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) in den USA konnten die von einem Paar kollabierender Schwarzer Löcher abgestrahlten Gravitationswellen aufgezeichnet werden. An dem internationalen Kooperationsprojekt LIGO und VIRGO (in Europa) sind 133 Institutionen in 14 Ländern mit ca. 1000 Mitarbeitern beteiligt. Die Grundlagen der Nachweisteknik (zu deren Erfolg maßgeblich die Gruppen von Karsten Danzmann am MPI für Gravitationsphysik und der Leibniz Universität Hannover beigetragen haben) sowie die Ergebnisse der Gravitationswellenexperimente werden kurz beschrieben. Die Perspektiven einer nun greifbaren Gravitationswellenastrophysik/astronomie sind weitgesteckt: Es wird möglich sein, Objekte zu beobachten, die keine elektromagnetische Strahlung emittieren und damit in die bislang unzugänglichen dunklen Teile des Universums (99%!) vorzudringen. In Kombination mit anderen Beobachtungsmethoden ist ein vollkommen neues Bild des Kosmos zu erwarten, das weiteren Aufschluss zum Ursprung der Gravitation und damit der gesamten Kosmologie geben kann. Konzepte für weltraumbasierte Gravitationsinterferometer sind vorbereitet und werden bereits getestet [12,13]. Ein neues Niveau des Verständnisses von Gravitation kann sich nun stabilisieren, wissenschaftlicher Fortschritt im Sinne von Thomas Kuhn.

Literatur

- [1] KUHN, TH.S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions* – The University of Chicago Press, Chicago; 4th edition 2012.
- [2] KAMMERLINGH-ONNES, H. (1911): Communications from the Physical Laboratory of the University of Leiden **119**: 18–26 .
- [3] BEDNORZ, G. & K.A. MÜLLER (1986): – Zeitschrift für Physik B **64**: 189–193.
- [4] KAMIHARA, Y., T. WATANABE, M. HIRANO & H. HOSONO (2008): – Journal of the American Chemical Society **130**: 3296–3297.
- [5] DROZDOV, A.P., M.I. EREMETS & I.A. TROYAN (2014): Preprint at <http://arxiv.org/abs/1412.0460>.

- [5a] DROZDOV, A.P., M.I. EREMETS, I.A. TROYAN, V. KSENOFONTOV, S.I. SHYLIN (2015): – *Nature* **525**: 73–76.
- [6] EINSTEIN, A. (1916): *Sitzungsber. K. Preuss. – Akad. Wiss.* **1**: 688, *ibid.* (1918) **1**: 154.
- [7] SAULSON, P.R. (2011): – *Gen. Relativ. Gravit.* **43**: 3289–99.
- [8] WEBER, J. (1969): – *Phys. Rev. Letters* **22**: 1320–4.
- [9] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1993/press.html
- [10] <http://www.weltdrphysik.de/gebiet/astro/news/2015/staub-statt-gravitationswellen/>
- [11] ABBOTT, B.P. et al (2016): – *Phys. Rev. Letters* **116**: 061102.
- [12] ABBOTT, B.P. et al (2016): – *Living Rev. Relativity* **19**: 1–39.
- [13] <https://www.elisascience.org>